

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-297289

(43)Date of publication of application : 18.11.1997

(51)Int.Cl.

G02F 1/035
G02F 1/03

(21)Application number : 08-113778

(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP
<NTT>

(22)Date of filing : 08.05.1996

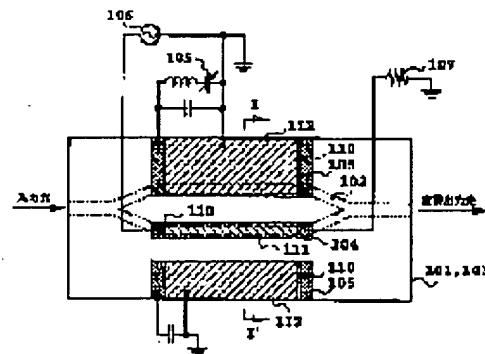
(72)Inventor : MITOMI OSAMU
MIYAZAWA HIROSHI
NOGUCHI KAZUTO

(54) OPTICAL CONTROL DEVICE AND OPERATING METHOD THEREFOR

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain an optical control bias structure capable of a high-speed operation with a low driving voltage by constituting at least one side of the center conductor or the grounding conductor of an electrode with a plurality of conductor layers of two layers or more layers by interposing the insulated layer of at least one layer.

SOLUTION: Modulation electrodes are constituted of conductors of two layers or more layers by interposing insulated layers 110 like polyimide, epoxy, etc., made sufficiently thin. The insulated layers 110 are interposedly mounted in between the lower center conductor 104 and the lower grounding conductor 105 and in between the upper center conductor 111 and the upper grounding conductor 112 of an LiNbO₃ substrate 101 side and electric insulations are attained by these insulated layers 110 in a DC and electric couplings are attained in a microwave via the capacitance between lower and upper electrodes to be formed by the insulated layers 110. Moreover, a material whose dielectric constant and refractive index are small with respect to the LN like SiO₂ or polyimide, etc., is selected as a buffer layer 103.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or

application converted [redacted] registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-297289

(43) 公開日 平成9年(1997)11月18日

(51) Int.Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 2 F 1/035			G 0 2 F 1/035	
1/03	5 0 2		1/03	5 0 2

審査請求 未請求 請求項の数6 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願平8-113778

(22) 出願日 平成8年(1996)5月8日

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号

(72) 発明者 三 富 修

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本
電信電話株式会社内

(72) 発明者 宮 沢 弘

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本
電信電話株式会社内

(72) 発明者 野 口 一 人

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本
電信電話株式会社内

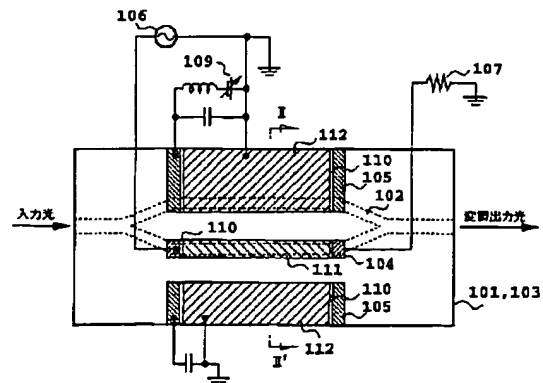
(74) 代理人 弁理士 谷 義 一 (外1名)

(54) 【発明の名称】 光制御デバイスとその動作方法

(57) 【要約】

【課題】 速度整合・特性インピーダンス整合をとるとともに、電極の導体損失を大幅に低減することによって、低駆動電圧で高速動作が可能な光制御バイアス構造と、従来用いられていたDC電圧バイアス用のバイアスTを不要とした広帯域動作が可能な光制御デバイスを提供する。

【解決手段】 少なくとも1本の光導波路を表面近傍に備えた電気光学効果を有する基板と、前記光導波路近傍に形成された電極より少なくとも構成され、該電極が中心導体と接地導体を有する光制御デバイスにおいて、前記電極の中心導体もしくは接地導体の少なくとも一方を絶縁層を介して2層以上の多層構造に構成する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 少なくとも1本の光導波路を表面近傍に備えた電気光学効果を有する基板と、前記光導波路近傍に形成された中心導体と接地導体とからなる電極とによって少なくとも構成された光制御デバイスにおいて、前記電極の中心導体もしくは接地導体の少なくとも一方が、少なくとも1層の絶縁層を介して2層もしくは2層以上の複数の導体層で構成されていることを特徴とする光制御デバイス。

【請求項2】 前記光導波路の近傍の基板が掘込まれて該基板表面にリッジ形状が形成されていることを特徴とする請求項1に記載の光制御デバイス。

【請求項3】 前記電極に供給されるマイクロ波信号波と前記光導波路を伝搬する光波の伝搬速度が等しくなるように該デバイス構造が設定されていることを特徴とする請求項1または2に記載の光制御デバイス。

【請求項4】 該光制御デバイスがマッハツェンダ形光強度変調器であることを特徴とする請求項1ないし3のいずれかに記載の光制御デバイス。

【請求項5】 前記基板をニオブ酸リチウムから構成したことを特徴とする請求項1ないし4のいずれかに記載の光制御デバイス。

【請求項6】 前記請求項1ないし5のいずれかに記載の光制御デバイスの動作方法であって、該光制御デバイスの中心導体もしくは接地導体の絶縁層を挟んで構成された異なる導体層に、マイクロ波信号源とDCバイアス電源とを別々に接続して、該光制御デバイスを動作させることを特徴とする光制御デバイス動作方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、周波数特性が極めて広帯域かつ低駆動電圧特性を有する光変調器、光スイッチ等の光制御デバイスおよびその動作方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 光通信システムや光応用計測技術においては、例えば、ニオブ酸リチウム(LiNbO₃:LN)結晶のような電気光学効果を有する強誘電体を利用して、光変調器や光スイッチあるいは偏波制御器等のような電気信号によって光の変調、スイッチング、偏波制

$$\Delta f_1 = 1.4c / (\pi |n_s - n_o| L) \quad (1)$$

の関係で与えられることが知られている。ここで、 c は真空中の光速、 L は変調電極の相互作用長である。変調器の駆動電圧 V_π の大きさは変調電極長 L に反比例する関係がある。従って、式(1)の関係から、駆動電圧を大きくすることなく広帯域化を図るためには、 $Z = 50 \Omega$ とし、さらに n_s の大きさを n_o の大きさに近づけるように、電極厚 t_e 、パッファ層厚 t_p の大きさを設定※

$$\Delta f_1 \text{ (GHz)} = 40 / (\alpha L)^2 \quad (2)$$

で与えられる。ここで、 α は1GHzにおける減衰定数

* 御等を行う光制御デバイスが多く用いられている。

【0003】 LN結晶を用いた従来の進行波形高速光強度変調器の構成と、その動作方法例を、図14および図15を参照して説明する。図14は、コプレーナ線路形変調電極を用いた光変調器の上面図であり、この図面には同時にその駆動回路が示されている。図15は、図14のXV-XV'線に沿う断面構成図である。この例では、電気光学効果を持つZカット-LN基板701にTi熱拡散によりマッハツェンダ形光導波路702が形成されている。この基板701の上には、変調電極による光の伝搬損失を抑制するために、厚さ t_b の、例えば、SiO₂のような、誘電体よりなるパッファ層(光導波路のクラッド層)703が形成され、そのパッファ層703上にAu、Al等の中心導体704および接地導体705から構成されるコプレーナ線路変調電極が形成されている。

【0004】 従来のこのような変調器においては、通常、電極の寸法は、中心導体704の幅 $W = 5 \sim 10 \mu m$ 、中心導体704と接地導体705との間隔 $G = 10 \sim 50 \mu m$ 程度に設定される。この場合、インピーダンス整合ならびに高効率な変調動作を実現するために、中心導体704の幅 W は、光導波路702の幅 W 。とほぼ同程度の大きさに設定される。同時に、マイクロ波変調信号の伝搬速度と光導波路702を伝わる光波速度の整合化を図るために、電極の厚さ t_e をギャップ G と同程度に設定する必要がある。そこで、 t_e が約 $5 \sim 50 \mu m$ 程度になる。また、電極の特性インピーダンス Z_e を、マイクロ波信号源等の入出力インピーダンスに整合させる必要がある。そのため、通常は特性インピーダンス Z_e を 50Ω に近い値に設定する。

【0005】 このような従来の変調器において、変調信号の伝搬速度と光導波路を伝わる光波速度が一致していない場合、変調器の動作帯域は主にこの速度不整合によって制限される。マイクロ波変調信号に対する電極の実行屈折率を n_s 、光導波路の実行屈折率を n_o 。(波長 $\lambda = 1.55 \mu m$ 帯では $n_s = 2.15$)とすると、インピーダンス整合がとれている時、光変調の帯域幅 Δf_1 (エレクトリカル3dB)は、

【0006】

【数1】

※している。しかし、 n_s を n_o の値に近づけた場合、主に電極の抵抗に起因する導体損失の大きさと帯域幅 Δf_1 が制限されるようになり、この場合($n_s = n_o$ の時)、

【0007】

【数2】

(dB/cm)である。

【0008】従って、より低駆動電圧化や広帯域・高速化を達成するためには、特性インピーダンス整合、マイクロ波-光波速度整合とともに、変調電極の導体損失を小さくすることが極めて重要な課題になる。また、この導体損失を低減するために、特に中心導体704の厚さ t_1 を厚く構成することが有効であるが、それに伴ってデバイス製作性に難点が生じる問題がある。

【0009】一方、光変調器を動作させる時、図14に示すように、マイクロ波信号源706とインピーダンス整合用の負荷抵抗707とともに、変調器の適当な動作点を設定するために、バイアスT708を介してDCバイアス電源709が接続される。バイアスT708は通常コンデンサとコイルより構成される。マイクロ波信号は、このコンデンサを通して供給されるので、その静電容量や浮遊容量等の大きさによって、変調器の動作周波数の下限ならびに上限が制約されることになる。このために、10GHzを越える広帯域動作を実現する上で、バイアスTの性能が変調器動作上大きな問題になる。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】本発明の課題は、従来の問題点を解決するために、速度整合・特性インピーダンス整合をとるとともに、電極の導体損失を大幅に低減することによって、低駆動電圧で高速動作が可能な光制御バイアス構造と、従来用いられていたDC電圧バイアス用のバイアスTを不要とした広帯域動作が可能な光制御デバイスおよびその動作方法を提供することにある。

【0011】

【課題を解決するための手段】前記課題を解決するために、本発明の請求項1の光制御デバイスは、少なくとも1本の光導波路を表面近傍に備えた電気光学効果を有する基板と、前記光導波路近傍に形成された中心導体と接地導体とからなる電極とによって少なくとも構成された光制御デバイスにおいて、前記電極の中心導体もしくは接地導体の少なくとも一方が、少なくとも1層の絶縁層を介して2層もしくは2層以上の複数の導体層で構成されていることを特徴とする。

【0012】また、本発明の請求項2の光制御デバイスは、前記請求項1の光制御デバイスにおいて、前記光導波路の近傍の基板が掘込まれて該基板表面にリッジ形状が形成されていることを特徴とする。

【0013】また、本発明の請求項3の光制御デバイスは、前記請求項1または2の光制御デバイスにおいて、前記電極に供給されるマイクロ波信号波と前記光導波路を伝搬する光波の伝搬速度が等しくなるように該デバイス構造が設定されていることを特徴とする。

【0014】また、本発明の請求項4の光制御デバイスは、前記請求項1ないし3のいずれかの光制御デバイスにおいて、該光制御デバイスがマッハツェンダ形光強度変調器であることを特徴とする。

【0015】また、本発明の請求項5の光制御デバイス

は、前記請求項1ないし4のいずれかの光制御デバイスにおいて、前記基板をニオブ酸リチウムから構成したことを特徴とする。

【0016】さらに、本発明の請求項6の光制御デバイスの動作方法は、前記請求項1ないし5のいずれかに記載の光制御デバイスの動作方法であって、該光制御デバイスの中心導体もしくは接地導体の絶縁層を挟んで構成された異なる導体層に、マイクロ波信号源とDCバイアス電源とを別々に接続して、該光制御デバイスを動作させることを特徴とする。

【0017】

【発明の実施の形態】以下、本発明を実施の形態により、さらに詳しく説明する。

【0018】(第1の実施の形態)図1および図2は、本発明によるz軸(結晶c軸)カット-LN基板とコプレーナ線路電極を用いたマッハツェンダ形光強度変調器の第1の実施の形態を示す図である。図1は、駆動回路を同時に示した該変調器の上面図であり、図2は、図1のII-II'線に沿う該変調器の中央断面構成図である。ここで、変調電極は、十分に薄くした(：厚さ t_1)ポリイミド、エポキシあるいは SiO_2 のような絶縁層110を介して2層以上の導体で構成されている。厚さ t_{s1} のLN基板101側の下部中心導体104および下部接地導体105と、厚さ t_{s2} の上部中心導体111および上部接地導体112との間には、絶縁層110が介装され、この絶縁層110によって、DC的には電気的絶縁をとっており、マイクロ波的には絶縁層110で形成される下部上部電極間の静電容量Cを介して電気的結合がとられている。バッファ層103としては、 SiO_2 、あるいはポリイミド等のようなLNに対して誘電率、屈折率が小さい材料が、選ばれる。中心導体104と接地導体105との間隔G、バッファ層103の厚さ t_3 、絶縁層の厚さ t_1 、電極の厚さ t_{s1} 、 t_{s2} の大きさは、特に高周波において光とマイクロ波との速度整合をとり、特性インピーダンスZを適当な大きさ(例えば、 $Z=50\Omega$)にして、外部回路とのインピーダンス整合を図るように構成される。

【0019】ここで、電極形状は、図では矩形を示しているが、例えば、中心導体104、111もしくは接地導体105、112が、台形、逆台形あるいは多層の任意の形状をとっても同様の効果を有する。絶縁層110は、印加されるDCバイアス電圧に対して十分な耐圧性を有する限り、その厚さ t_1 は出来る限り薄くすることが望ましい。また絶縁層110で形成される静電容量Cが出来る限り大きいことが望ましいので、誘電率の大きい材料がより適することになる。絶縁層110を挟む下部・上部電極は、通常の蒸着法、電界メッキ法、機械的に張り合せる方法、あるいは電気プリント基板製作技術等の種々の厚膜電極形成技術を用いて、製作できるの

で、必要に応じて充分厚い電極を容易に形成できる。

【0020】マイクロ波信号源106は、下部中心導体104と上部接地導体112との間に接続され、DCバイアス電源109は、上部接地導体112と下部接地導体105との間に接続される。

【0021】変調器電極のマイクロ波損失の大きさは、いわゆる表皮効果による導体損失の大きさによって決まることが知られている。このために、通常の電極は、高周波になる程、その損失が大きくなる傾向を示す。しかし、本発明による電極構成の場合、高周波になるにしたがって、下部・上部電極間の電氣的結合が強くなり、実効的電極の厚さが、 t_{s1} から $(t_{s1} + t_{s2})$ になるために、導体損失の増大を抑制する効果を生ずることになる。一方、変調器駆動回路は、図1に示すように、従来のマイクロ波回路に挿入されていたバイアスTが不要になるために、このバイアスTによる周波数特性の制約がなくなる。一方、図に示した本発明のDCバイアス電源109ならびに上部下部接地導体間に接続したコンデンサ、コイルは、DC電源の低周波に対するバイパス回路の役割を持たせるためのものである。このため、これらは必要に応じて設定すればよいものであり、マイクロ波

の高速動作上には関わりがない。したがって、本発明によって極めて広帯域な動作が可能になる。なお、本発明による光変調器は、絶縁層110の厚さ t を充分薄くすることによって、絶縁層を除去して電極厚を $(t_{s1} + t_{s2})$ にした変調器と同じ特性を有することになる。

【0022】(第2の実施の形態)図3は、本発明による光変調器の第2の実施の形態を示す図であり、駆動回路入力部の接続方法を同時に示した該光変調器の断面構成図である。この場合、光導波路202近傍のLN基板201の表面をエッチングすることにより、LN基板201をリッジ形状化している。この時、電極は、中心導体204、211のみ絶縁層210が挿入されており、接地導体205と212は電氣的に導通がとられている。変調器駆動回路の接続方法は、図14に示した従来例と原理は同じであるが、従来のバイアスTは不要である。この場合も、中心導体204および211と、接地導体205および212との間隔G、バッファ層203の厚さ t 、リッジ深さ t_r 、リッジ幅 w_r 、絶縁層210の厚さ t 、電極の厚さ t_{s1} 、 t_{s2} の大きさは、図1、図2に示した第1の実施の形態と同様に、光とマイクロ波との速度整合を図り、特性インピーダンスZが、例えば $Z = 50 \Omega$ になるように、構成している。

【0023】このような本発明によるリッジ光変調器では、図1、図2に示した実施の形態と比較して、電極厚 t_{s1} 、 t_{s2} 一定の下でリッジ深さ t_r を大きくすると、特性インピーダンスZは大きく、マイクロ波実効屈

$$p = V \pi L \cdot \alpha$$

で定義したパラメータである。変調器と信号源とのインピーダンス整合がとれている場合、変調器の駆動電圧 $V \pi$ (V)、電気的3dB帯域幅 Δf (GHz)

* 折率 n_s 、減衰定数 α は小さくなる。これは、 t_r が大きくなるにつれて、強誘電体の LiNbO_3 に代わって、低誘電率の SiO_2 や空気に置き換えられているために、実効的な誘電率が低下するためである。また、駆動電圧・電極長積 $V \pi L$ については、 t_r が数 μm 程度の大きさで最小になり、さらに t_r が大きくなると、微増する傾向がある。これは、 t_r が0から例えば3~4 μm 程度の大きさになると、 LiNbO_3 基板中の光導波路近傍に電氣力線が集中することによって、マイクロ波電界強度が強まり駆動電圧が低下する効果が、現れるためである。しかし、 t_r がさらに大きくなると、中心導体と接地導体間の実効的な距離が大きくなる効果が強まり、電界強度が低下するために、 $V \pi L$ は逆に大きくなる。

【0024】一方、リッジ深さ t_r 、電極間隔Gが一定で、電極幅Wもしくは電極厚 $t_s (= t_{s1} + t_{s2})$ を大きくすると、特性インピーダンスZ、マイクロ波実効屈折率 n_s 、減衰定数 α は小さくなるが、 $V \pi L$ はほとんど変化しない。これは、W、 t_s が大きくなるにしたがって、中心導体-接地導体間間の静電容量が大きくなるが、光導波路近傍の電界強度の大きさがほとんど変化しないためである。

【0025】図4から図10は、本発明の原理と効果を説明するための図であり、LN基板を用いた変調器のマイクロ波特性を準TEM波近似解析法で計算した例を示す。

【0026】高速光変調器を実現するには、マイクロ波と光波の速度整合をとる必要があり、マイクロ波実効屈折率 n_s が、光波の等価屈折率 n_o とほぼ等しい大きさ(波長 $\lambda = 1.55 \mu\text{m}$ 帯では $n_s = 2.15$)になるように、変調器構造が選ばれる。図4ないし図8は、図3に示した第2の実施の形態において、絶縁層210を充分薄く構成し、変調電極の中心導体幅 $W = 16 \mu\text{m}$ 一定に設定した場合、速度整合条件を得るために必要な電極厚 $t_s (= t_{s1} + t_{s2})$ (図4)と、その電極厚 t_s における特性インピーダンスZ(図5)、マイクロ波減衰定数 α (1GHzにおける導体損失)(図6)、単位長さ電極の駆動電圧 $V \pi L$ (図7)、変調器の性能指数 p (図8)のそれぞれの SiO_2 バッファ層厚 t に対する関係を示した。ここで、リッジ深さ t_r は、 $t_r = 3 \mu\text{m}$ 一定の場合であり、中心導体-接地導体間隔Gは、 $90 \mu\text{m}$ 、 $70 \mu\text{m}$ 、 $50 \mu\text{m}$ の3つの場合について示した。光波の波長は $1.55 \mu\text{m}$ 帯、リッジ幅 $w_r = 9 \mu\text{m}$ としている。また、性能指数 p は、

【0027】

【数3】

(3)

は、

【0028】

【数4】

$$V\pi/\Delta f^{1/2} = p/6.4$$

の関係で与えられる。すなわち、 p が小さい電極構造は、高性能化（低駆動電圧化、広帯域化）が可能になる。

【0029】図5より、 t_m の大きさを適当な値に設定して速度整合条件を満たした場合、特性インピーダンス Z は、 G の大きさにかかわらず、リッジ深さ t_r とパッファ層厚 t_p の大きさでほぼ一義的に決まることが分かる。また、駆動電圧 $V\pi$ も図7より、 G の大きさにはほとんど影響を受けず、リッジ深さ t_r とパッファ層厚 t_p の大きさでほぼ一義的に決まることが分かる。これは、主に $LiNbO_3$ 基板の誘電率が、結晶の c 軸に対して平行方向と垂直方向で異方性を持つことに起因している。

【0030】図8中の波線は、速度整合条件を満たす電極厚 t_e （図4）が、40、60、80 μm で一定である点を結んだものである。 t_e が一定の時、 p の大きさはパッファ層厚 t_p の大きさに対する依存性は小さいが、 t_e を厚くするほど p パラメータを小さくできることが分かる。以上のことから、例えば、特性インピーダンスを $Z=50\Omega$ にする場合、パッファ層厚 t_p を $t_p=1.0\mu m$ 程度（リッジ深さ $t_r=3\mu m$ の場合）に設定すればよい。この時、電極間隔 G を大きくする（それに伴って必要な電極厚 t_e は大きくなる）ほど、 p パラメータは小さくなり、低駆動電圧で広帯域な高性能光変調器を実現できる。なお、図14、15の従来例の変調器では、例えば、中心導体 $W=8\mu m$ 、ギャップ $G=20\mu m$ 程度の場合、性能指数 p は5程度の大きさであるので、本発明による特性改善効果は極めて大きいことが分かる。

【0031】図9および図10は、図3に示した第2の実施の形態において、絶縁層210をエポキシ樹脂で構成し、変調器マイクロ波特性インピーダンス Z （図9）と、マイクロ波信号源に対する変調器駆動電圧 $V\pi$ 特性（図10）のそれぞれの絶縁層厚さ t_i の依存性を示す。ここでは、パッファ層厚 $t_p=1\mu m$ 、リッジ深さ $t_r=3\mu m$ 一定としている。これらの図から、 t_i を $1\mu m$ 以下にすると、絶縁層のない変調器（ $t_i=0$ ）とほぼ等しい特性を得られることが分かる。DCバイアス電源に対する駆動電圧 $V\pi_{dc}\cdot L$ は、 t_i の大きさによらず、図10に示すように、 $t_i=0$ の時の値になる。また、 t_i が厚い場合、その厚さに応じてインピーダンス整合、速度整合条件を満たす変調器構造を設計すればよいことは、自明である。

【0032】以上の説明では、電極の中心導体幅は $W=16\mu m$ の場合を示したが、本発明では、特にリッジ形変調器の場合、 t_r 、 w_r の大きさを固定して W をさらに大きくしても、電極間隔 G の大きさに関わらずに、中心導体直下の強誘電体基板リッジ部の電界強度はさほど変わらないので、 $V\pi L$ の大きさはほとんど変化しな

$$(4)$$

い。 W を大きくする程、速度整合に必要な電極間隔 G 、電極厚 t_e が大きくなり、電極の断面積が大きくなるので、導体損失 α は小さくなる（ p は小さくなる）。すなわち、より高性能な光変調器が実現可能になる。したがって、 W は、 $W=10\mu m$ 程度から $100\mu m$ 程度の大きさの範囲に、設定すれば、本発明の効果を得ることができる。また、リッジ幅 w_r 、リッジ深さ t_r の大きさについても、デバイスの製作性を考慮し、電極寸法・形状、パッファ層材質・厚さ等のデバイスの構成材料・構造に合わせて最適な寸法を設定すればよい。

【0033】なお、中心導体-接地導体間隔 G については、 G を大きくするほど、 p パラメータが小さくなる。しかし、必要以上に大きくすると、構造分散によるマイクロ波特性への悪影響が出てくる。このために、動作周波数に応じて、マイクロ波信号の波長より十分小さい寸法を選ぶことにより、その影響を軽減できるので、 $G=10\mu m\sim 1000\mu m$ 程度の大きさを選べばよい。変調電極の厚さ t_e （ $=t_{e1}+t_{e2}$ ）については、 t_e が大きいほどマイクロ波特性上は望ましいが、製作性を考慮して、 t_e は W と同じ大きさ（ $t_e=W$ ）から10倍（ $t_e=10W$ ）程度の大きさの範囲に設定すればよい。パッファ層の厚さ t_p は、主に特性インピーダンスの大きさの制約から設計されるが、製作性や変調器の光挿入損失・安定性を考慮して、 $t_p=0.2\mu m\sim 5\mu m$ になる。 $LiNbO_3$ 基板のリッジ深さ t_r については、 $V\pi L$ 特性の低減効果と、 $LiNbO_3$ エッチング工程の容易さを考慮して、通常 $1\sim 10\mu m$ 程度に設定される。

【0034】（第3の実施の形態）図11は、本発明による光変調器の第3の実施の形態を示す図であり、駆動回路の接続方法を合わせて示した該光変調器の断面構成図である。この場合、接地導体405、412のみ絶縁層410で分離している。図に示したように、上部中心導体幅 W' を下部中心導体幅 W より広く構成することにより、 $W'=W$ の場合と比較して、中心導体-接地導体間の電氣的結合を強めることができ、速度整合条件を得るための全電極厚（ $t_{e1}+t_{e2}$ ）を比較的薄く構成できる特長を有する。また、中心導体に絶縁層を用いていないために、絶縁層を全く用いていない変調器とほぼ同等のマイクロ波特性を有することになる。

（第4の実施の形態）図12は、本発明による光変調器の第4の実施の形態を示す断面構成図であり、 SiO_2 やポリイミドあるいはレジスト等の低誘電率の材料513で下部電極504、505が埋め込まれて構成されている。この場合、下部電極504、505の表面が平坦化されているので、下部電極幅の制約を受けずに、上部電極511、512の幅を任意の大きさに設定できる特長を有する。

【0035】（第5の実施の形態）図13は、本発明に

よる光変調器の第5の実施の形態を示す断面構成図であり、y軸もしくはx軸カット-LN基板601とコプレーナ線路電極を用いたマッハツェンダ形光強度変調器の一実施形態であり、変調器中央部の断面構成を示している。図中、604は下部中心導体、605は接地導体、610は絶縁層、611は上部中心導体である。この場合も、前述のz軸カット-LN基板を用いた形態と同様の原理で、本発明の効果を得ることができる。

【0036】以上では、変調電極としてコプレーナ線路を用いた場合を示したが、例えば、非対象コプレーナストリップ線路、対象コプレーナストリップ線路、マイクロストリップ線路等の各種マイクロ波線路を用いても、同様の効果を得ることができることは、自明である。また、以上では、少なくとも中心導体もしくは接地導体を一つの絶縁層を介して2層の導体で構成する場合を示したが、中心導体もしくは接地導体を複数の絶縁層を介して複数層の導体で構成してマイクロ波信号源とDCバイアス電源を分離するように接続すれば、本発明の効果を得ることが出来る。

【0037】また、以上では、下部電極にマイクロ波信号源を、上部電極にDCバイアス電源を接続した場合を説明したが、この逆にそれぞれを接続しても同様の原理で本発明の効果を得ることが出来る。

【0038】さらに、以上では、電気光学効果を有する基板としてLiNbO₃を、バッファ層としてSiO₂を用いた高速光強度変調器を例として本発明の原理・効果・実施例を述べたが、この他に、電気光学効果を有する基板としてLiTaO₃、やPLZT等の強誘電体や半導体、有機材料等を利用し、バッファ層として例えばAl₂O₃、やITO、ポリイミド等の誘電体を利用しても良い。また、光強度変調器以外に光位相変調器、光スイッチ、偏波制御器等のような、電気信号によって光出力を制御するあらゆる光制御デバイスに、本発明を適用できることは自明である。

【0039】

【発明の効果】以上説明したように、本発明では、少なくとも1本の光導波路を表面近傍に備えた電気光学効果を有する基板と、前記光導波路近傍に形成された電極より少なくとも構成され、該電極が中心導体と接地導体を有する光制御デバイスにおいて、前記電極の中心導体もしくは接地導体の少なくとも一方が絶縁層を介して2層以上の多層構造で構成されていることを特徴とする。

【0040】また、上記光変調器駆動回路のマイクロ波信号源とDCバイアス電源が該中心導体もしくは接地導体の異なる導体層にそれぞれ接続して動作させることを特徴とする。

【0041】これによって、電極を実効的に厚く構成できるので、速度整合・特性インピーダンス整合をとるとともに、電極の導体損失を大幅に低減することが可能になり、低駆動電圧で高速動作が可能な光制御デバイスを

実現できる。また、変調器駆動回路にDC電圧バイアス用のバイアスTが不要になるために、広帯域な光制御デバイス動作を実現できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態を示すもので、本発明にかかる光制御デバイスの上面図であり、同時に駆動回路の接続状態を示している。

【図2】図1のII-II'線に沿う断面構成図である。

【図3】本発明の第2の実施の形態を示すもので、本発明にかかる光制御デバイスの断面構成図であり、同時に駆動回路の接続状態を示している。

【図4】本発明の原理と効果を説明するためのグラフであり、速度整合条件を得るために必要な電極厚 t_1 ($=t_{s1}+t_{s2}$)のSiO₂バッファ層厚 t_2 に対する関係を示すグラフである。

【図5】本発明の原理と効果を説明するためのグラフであり、速度整合条件を得るために必要な電極厚 t_1 における特性インピーダンスZのSiO₂バッファ層厚 t_2 に対する関係を示すグラフである。

【図6】本発明の原理と効果を説明するためのグラフであり、速度整合条件を得るために必要な電極厚 t_1 におけるマイクロ波減衰定数 α (1GHzにおける導体損失)のSiO₂バッファ層厚 t_2 に対する関係を示すグラフである。

【図7】本発明の原理と効果を説明するためのグラフであり、速度整合条件を得るために必要な電極厚 t_1 における単位長さ電極の駆動電圧 $V_{\pi L}$ のSiO₂バッファ層厚 t_2 に対する関係を示すグラフである。

【図8】本発明の原理と効果を説明するためのグラフであり、速度整合条件を得るために必要な電極厚 t_1 における変調器の性能指数 p のSiO₂バッファ層厚 t_2 に対する関係を示すグラフである。

【図9】本発明の原理と効果を説明するためのグラフであり、絶縁層厚 t_3 に対する特性インピーダンスZおよび実効屈折率の関係を示すグラフである。

【図10】本発明の原理と効果を説明するためのグラフであり、絶縁層厚 t_3 に対する駆動電圧の関係を示すグラフである。

【図11】本発明の第3の実施の形態を示すもので、本発明にかかる光制御デバイスの断面構成図であり、同時に駆動回路の接続状態を示している。

【図12】本発明の第4の実施の形態を示すもので、本発明にかかる光制御デバイスの断面構成図である。

【図13】本発明の第5の実施の形態を示すもので、本発明にかかる光制御デバイスの断面構成図である。

【図14】従来のマッハツェンダ光強度変調器の一例を示す上面図であり、同時に駆動回路の接続状態を示している。

【図15】図14のXV-XV'線に沿う断面図である。

11

【符号の説明】

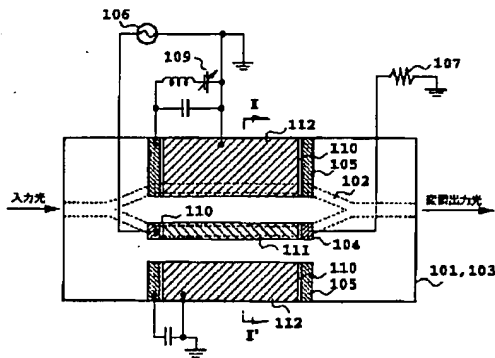
101, 201, 401, 501, 601, 701 L
iNbO₃ 基板
102, 202, 402, 502, 602, 702 T
i熱拡散光導波路
103, 203, 403, 503, 703 パツファ層
104, 204, 404, 504, 604, 704 下
部中心導体
105, 205, 405, 505, 605, 705 下
部接地導体

*10

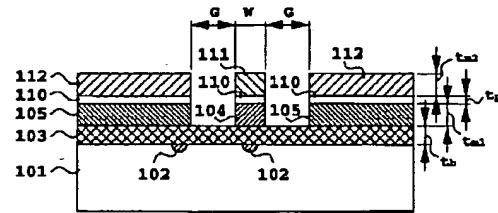
12

*106, 206, 406, 706 マイクロ波信号源
107, 707 負荷抵抗
708 バイアスT
109, 209, 409, 709 DCバイアス電源
110, 210, 410, 510, 610 絶縁層
111, 211, 411, 511, 611 上部中心導
体
112, 212, 412, 512 上部接地導体
513 低誘電率材料

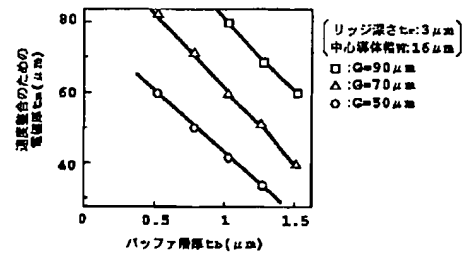
【図1】



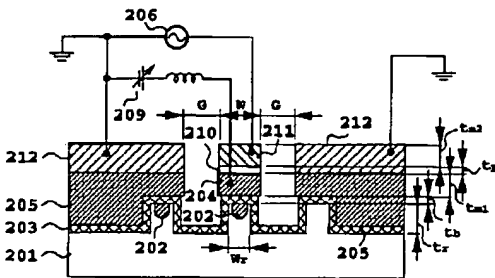
【図2】



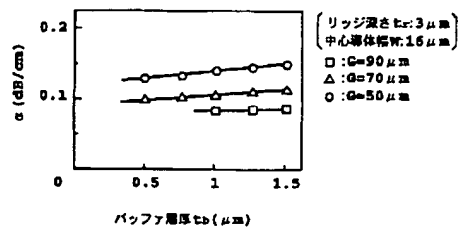
【図4】



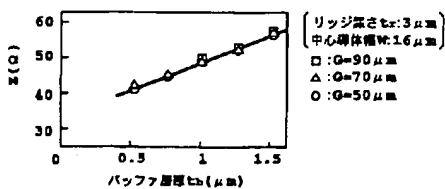
【図3】



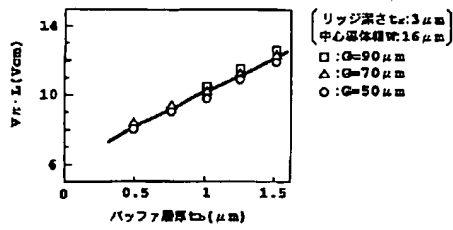
【図6】



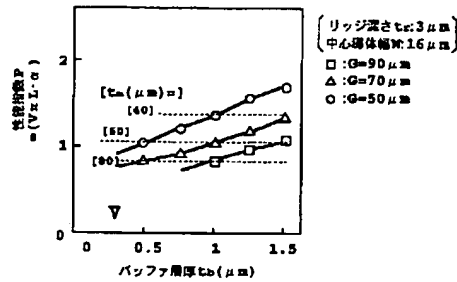
【図5】



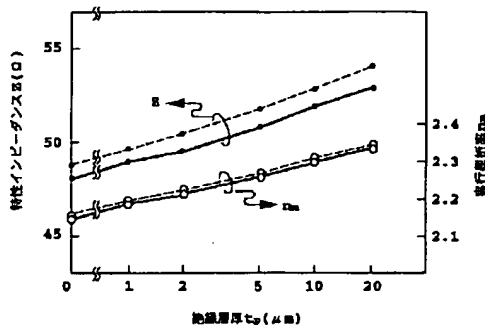
【図7】



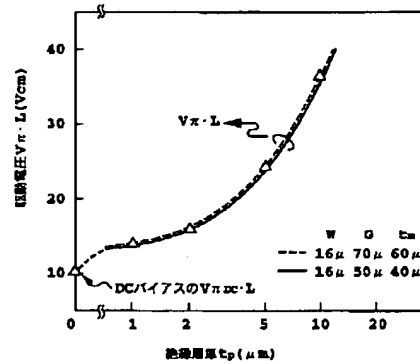
【図8】



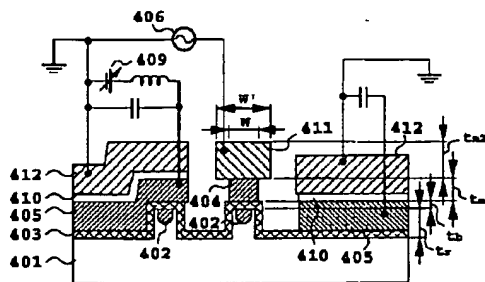
【図9】



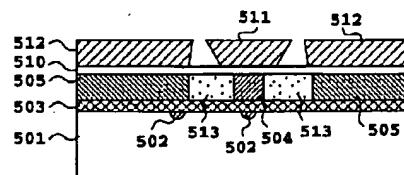
【図10】



【図11】

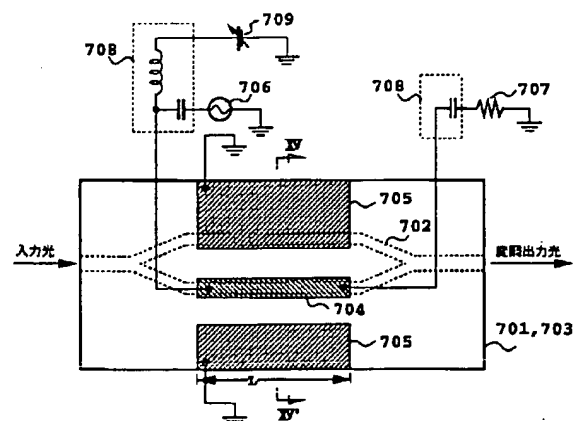
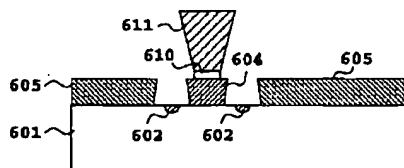


【図12】



【図14】

【図13】



【図15】

